

## 臨床用補助人工心臓内血流動態の定量的解析

著者	片平 美明
号	2018
発行年	1988
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/20219">http://hdl.handle.net/10097/20219</a>

氏 名（本籍） 片 平 美 明

学 位 の 種 類 医 学 博 士

学 位 記 番 号 医 第 2018 号

学位授与年月日 昭 和 63 年 9 月 14 日

学位授与の要件 学位規則第5条第2項該当

最 終 学 歴 昭 和 56 年 3 月  
東北大学医学部医学科卒業

学 位 論 文 題 目 臨床用補助人工心臓内血流動態の定量的解析

（主 査）  
論文審査委員 教授 田 中 元 直 教授 毛 利 平  
教授 滝 島 任

# 論文内容要旨

## 1. はじめに

補助人工心臓（VAD）は、開心術後および心筋梗塞等にもとづくポンプ機能不全に対して比較的短期間の循環補助を行なうものである。実用的なVADの開発にあたっては、その形状がポンプとしての特性に対してさまざまな影響を与えるので、VADの形状を決定する際には、種々の駆動条件下におけるVAD内各部分の流れについて流体力学的な面から詳細に検討を加えることが不可欠である。しかも拍動流ポンプにおいては、流れの定常状態は存在しないので、流れの経時的变化についても詳細に把握することが必要となる。そこで著者は、VADの流体力学的性質を解明するために、流れの可視化写真から流れの定量的解析を行う方法を提案し、形状と駆動条件の違いによるVAD内の流れの変化を流体力学的に検討した。

## 2. 流れの定量的解析法

著者の提案した流れの定量的解析法は、固体トレーサ法による流れの可視化写真をもとにしてタブレットによる数値化、およびコンピュータによる演算を行ない、流速ベクトルの2次元分布図、流線形状、渦度の2次元分布図、ずり速度の2次元分布図を得るものである。この流れの定量的解析法を、サック型VADに適用することにより、VAD内の流速ベクトル、流線、渦、およびずり速度の定量的経時的变化の解析を行った。その結果、この方法はVAD内の流れの場合全体を定量的に把握することが可能であり、流体力学的解析にきわめて有利な方法と考えられた。

## 3. 形状および駆動条件による流れの変化

VADの開発にあたっては、その形状が血液ポンプとしての特性に対して様々な影響を与えるので、その形状をどのように決めるかがきわめて重要な問題となる。そこで、従来使用してきたVADをもとにして、あらたに3種類の形状のVADを試作し、この定量的解析法を適用することにより、形状の違いがもたらす流れの変化について解析を行った。またVADは生体心のポンプ機能不全の程度により拍出量を幅広い範囲で変化させるといった、完全人工心臓とは異なる要求を満たさなければならないので、VADの開発のためには、異なる拍出量下、特にポンプ内への血栓形成の機会が多いと考えられる低流量時の経時的なVAD内の流れの解析が不可欠である。そこで各種駆動条件下でのVADの流れの変化についても解析を行った。その結果、1) VADの形状は流速の変化ばかりではなく、流線形状、剪断応力、 $V^2$ 分布等の変化を引き起こし、VADのポンプ効率、抗血栓性等に対して影響を与えること、2) 流入口からVADのサックにかけての

形状、および流入流出口とサックの位置が、流入する流れにより発生する滞流域の分布と拡張期に発生する旋回流の強さと分布を決定すること、3) 一回拍出量を減少させていくと、ある時点で急激に流速およびずり速度の低下が始まり、抗血栓性の点からVAD駆動の際の低拍出量の下限が存在すること、4) 実際に低拍出量が要求された場合は、一回拍出量を維持したままで、駆動回数を減らし拍出量を低下させた方が抗血栓性の面で有利なこと、が明らかとなった。

#### 4. 解析結果にもとづくVADの改良

流れの可視化法を用いた定量的解析法によって得られた結果をもとにして、VADの形状の改良を行った。新しく作成したVADの特徴は、1) VADとして使用した場合の低拍出量における抗血栓性の向上のために、最大拍出量の設計値を4.01/minと小さくしたこと、2) 流入に伴い発生する剥離域の形成を抑制するために、流入口の部分を、そのまま滑らかにサックにつながるような形状としたこと、3) 拡張後期に発生する旋回流の流速とずり速度を高めるために、流入流出口の間隔を離したこと、である。

#### 5. 慢性動物実験による抗血栓性の評価

改良を行ったVADが、血液ポンプとして、実際に臨床使用が可能かどうかの評価のためには、in vivoでの長期にわたる実験が必要なことは言うまでもない。また、VADの特性の中で、臨床使用上もっとも問題となるのはVADの抗血栓性である。そこで、21頭の山羊を用いた慢性実験を行ない、臨床用VADとして十分な抗血栓性を備えているかどうかを評価した。実験は抗凝固、抗血小板薬をまったく投与せずに行ったが、血栓発生率の比較では、従来の形状の血栓発生率67%に対して、新しい形状のVADでは7%にまで低下しており、定量的解析法を用いて得られたVAD内の流れの解析結果を十分に裏付けるものであった。

#### 6. ま と め

以上の結果、著者の提案した流れの可視化法を用いた定量的解析法は、血液ポンプとしてのVADの流体力学的な特性を明らかにし、実際に臨床使用可能なVADの開発にきわめて有用な情報を提供するものと考えられた。

## 審査結果の要旨

片 平 美 明

心不全の治療、特に開心術後などに発症したポンプ機能不全の治療に対し、補助人工心臓（VAD）のもつ役割と意義は大きく、小型軽量で、安全に使用しうる耐久性のある補助人工心臓の開発と実用化が要望されている。現状でもすでに、拍動流ポンプおよび定常流ポンプとして実用化が計られているが、ポンプ効率、抗血栓性を始め多くの問題が残されており、実用上十分なVADといえるものがない。その主因は人工心臓の物理学的、工学的理論解析が充分になされていないことにあるといっても過言ではない。より実用性の高いVADを開発し実用化するためにはVAD内における血流動態の状況を理論的に解析し、解明していくことが不可欠である。

かかる点に着目し、本研究では個体トレーサ法による流れの可視化法を導入し、VAD内血流の流体力学的解析を行なう方法を考案して、まず、既存のVAD内の血流動態を実験的、理論的に解明している。しかるのち、その解析結果を基礎としてあらたに3種類の形状の異なるVADを試作し、この定量的解析法を適用することにより、形状の違いがもたらす流れの変化について解析を行なっている。その結果、1)VADの形状は流速の変化ばかりではなく、流線形状、剪断応力、 $v^2$ 分布等の変化を引き起こし、VADのポンプ効率、抗血栓性等に対して影響を与えること、2)流入口からVADのサックにかけての形状、および流入流出口とサックの位置が、流入する流れにより発生する滞流域の分布と拡張期に発生する旋回流の強さと分布を決定すること、3)一回拍出量を減少させていくと、ある点で急激に流速およびずり速度の低下が始まり、抗血栓性の点からVAD駆動の際の低拍出量の下限が存在すること、4)実際に低拍出量が要求された場合は、一回拍出量を維持したまま、駆動回数を減らし拍出量を低下させた方が抗血栓性の面で有利なことなどを明らかにした。

かかる結果をもとにして、さらにVADの改良を行ない、また21頭の山羊を用いた慢性実験を行なって臨床用VADとしての十分な性能と抗血栓性を備えているVADの考案と開発を行なっている。

以上の如く、本研究で提案されたVAD内血流の定量的解析法はVADの流体力学的特性を評価するための方法論として独創性と特異性の高い方法論である。また著者はこの方法論により、これまで不明であったVAD内の血流動態に関し多くの新知見を提示しており、さらにその解析結果を基礎として試作した新しい型のVADについて動物実験によって、その性能を検討し、臨床的実用性の高いVADであることを証明している。このように、本研究はきわめて独創性に富むものであり、臨床医学の発展に寄与する所もまたきわめて大きいと判断される。よって学位を授与されてしかるべきものであると思惟する。